

Naturraum Menschenlandschaft

Herausgegeben von

Peter K. Köhler

Beratung

Norbert Müller

Meyster

Das Titelbild zeigt eine aufgelassene Bahnstrecke in Köln, auf der unter anderem der gelb blühende Scharfe Mauerpfeffer wächst. Die Ritzen einer alten Fabrikfassade benutzt eine Birke als Standort (Seite 2). In U-Bahnanlagen nisten sich mitunter Grillen ein. Das Bild auf Seite 6 entstand in München.

© 1984: Meyster Verlag GmbH, München

Gestaltung: Peter K. Köhler

Graphiken und Zeichnungen: Klaus Baumann

Lithos: Schwitter AG, Basel

Satz: Presse-Druck- und Verlags GmbH, Augsburg

Druck und buchbinderische Arbeit:

Mohndruck Graphische Betriebe, Gütersloh

ISBN: 3-8131-8010-7

Printed in Germany

Wärmeinseln unter der Glocke

Jucundus Jacobeit

Wie sich Pflanzen und Tiere in einem Gebiet entwickeln können, hängt ganz besonders auch von dem Klima ab, das dort herrscht. Siedlungsräume haben ein ganz spezielles Klima, das sich insbesondere in der Häufigkeit von Niederschlägen, der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und der Zusammensetzung der Luft von dem der freien Landschaft unterscheidet.

Der Begriff Klima umfaßt in diesem Kapitel alle Zustände und Entwicklungen der erdnahen Luftschichten. Durch langjährige Beobachtungen können Meteorologen charakteristische Klimatypen für bestimmte Gebiete definieren. Für Siedlungsräume stellt sich dabei heraus, daß die durchschnittliche Temperatur um so höher ist, je dichter ein Gebiet bebaut ist. Umgekehrt sinkt die Windgeschwindigkeit, je weiter man vom Rand her in ein Stadtzentrum geht. Eine direkte Folge dieser beiden Beobachtungen ist, daß die Luft dort stärker mit Schwebeteilchen (Staub) und Abgasen belastet ist und es insgesamt häufiger regnet als in der Umgebung.

Diese Erscheinungen haben eine ganze Reihe von Gründen. So ist in Städten die natürliche Form und Beschaffenheit der Erdoberfläche völlig verändert worden. An die Stelle von Wiesen und Wäldern, von Ebenen, Hügellandschaften oder Berghängen sind Bauwerke getreten. Dadurch wird nicht nur das Relief der Erdoberfläche grundlegend geändert, sondern auch eine ganze Reihe anderer Größen, die das Klima wesentlich beeinflussen. Als ein Beispiel sei hier die Wärmeleitfähigkeit von Baukörpern genannt. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen freier Landschaft und Siedlungsräumen so stark, daß Meteorologen von Stadtklima sprechen.

Dunstglocke

Eines der markantesten Merkmale des Stadtklimas kann man zu bestimmten Zeiten, vor allem bei Hochdruckwetter, mit dem bloßen Auge erkennen: die Dunstglocke. Sie entsteht beispielsweise, wenn im Winter eine sogenannte *Inversionswetterlage* herrscht. Das heißt, wärmere Luftschichten liegen über kalter Bodenluft. Warme Luft ist leichter als kalte und steigt daher nach oben. Diese Tatsache macht man sich bei Kaminen zunutze. Normalerweise zieht jeder Kamin von alleine, weil die heißen Abgase der Heizöfen aufgrund ihrer Leichte nach oben abziehen. Wenn aber im Sommer die Sonne direkt auf einen Kamin scheint, so daß die Luft oben heißer ist, als die Kamingase, funktioniert das Prinzip nicht mehr. Die kühlere Luft wird nach unten gedrückt und sucht sich andere Wege aus dem Kamin. Die Folgen sind oft genug verqualmte Häuser.

Ähnlich ist es bei Inversionswetterlagen. Der Austausch zwischen wärmeren und kälteren Luftschichten ist nicht mehr möglich. Fehlt dann auch noch Wind, der die Luft über den Städten wegblasen kann, bilden sich die Dunstglocken. Bestehen diese mehr als zwei Tage, haben sich derart viele Staub- und Wasserteilchen sowie Abgase über der Stadt angesammelt, daß man sie als Dunstglocke sehen kann.

Der Anteil an festen Teilchen (Partikel) in der Luft ist über Städten sehr viel höher als im Umland (siehe dazu auch die Tabelle auf Seite 29). Natürlich auftretende Partikel stammen aus dem Weltall, aus der Asche von Vulkanen, aus der Verdunstung von salzigem Meerwasser oder

werden beispielsweise bei Sandstürmen über den Wüsten aufgewirbelt und oft über Tausende von Kilometern verbreitet. Auch großflächige Brände in Wäldern oder auf Erdölfeldern tragen zur Ansammlung von Staub- und Schwebeteilchen bei, ebenso natürlich ablaufende chemische Reaktionen der verschiedenen Gase in der Luft. Das Gemisch von Gasen und Schwebeteilchen heißt *Aerosol*.

Über Städten kommen nun aber gewaltige Mengen von *Verunreinigungen durch den Menschen* hinzu. An erster Stelle der ›Abgas- und Staubschleudern‹ stehen dabei gewerbliche und private *Feuerungen*. Sie bringen allein in der Bundesrepublik in jedem Jahr rund 3,2 Millionen Tonnen Schwebepartikel als Rauchbestandteile in die Luft. Hinzu kommen weitere 800 000 Tonnen verschiedener Stäube aus der *industriellen Produktion*. Schließlich darf in diesem Zusammenhang der gewichtige Faktor *Straßenverkehr* nicht vergessen werden. Dabei fällt vor allem der als besonders umweltfreundlich geltende Dieselmotor negativ auf: Er schleudert gewaltige Mengen an Ruß in die Luft: Rund 13 Kilogramm pro 1000 Liter Dieseltreibstoff!

Das Ergebnis dieser geballten Verunreinigungen ist, daß in Städten die Luft um 5 bis 15 Prozent höher mit Partikeln belastet ist als im nicht bebauten Freiland. Diese Schwebeteilchen und die gleichzeitig erhöhte Zahl an kleinsten Wassertröpfchen in der Luft führen zu den weithin sichtbaren Dunstglocken.

<i>Partikeln in der Luft</i>	Mittel	Mittleres Maximum	Mittleres Minimum
Großstadt	147 000	379 000	49 100
Stadt	34 300	114 000	5 900
Land	9 500	66 500	1 050
Küste	9 500	33 400	1 560
Gebirge 500–1000 m	6 000	36 000	1 390
Gebirge 1000–2000 m	2 130	9 830	450
Gebirge > 2000 m	950	5 300	160
Inseln	9 200	43 600	460
Ozean	940	4 680	840

Geänderte Strahlung

Die Konsequenzen dieser erhöhten Partikelkonzentration gehen aber über die unmittelbar sichtbare Dunsthaube weit hinaus. Zunächst wird die einfallende *Strahlung* sowohl des direkten Sonnenlichts als auch des diffus gestreuten Himmelslichts *vermindert*. Damit nimmt vor allem die energiereiche kurzwellige Strahlung rapide ab. Aber auch die langwellige (= Wärme-)Ausstrahlung von der Erdoberfläche aus wird von größeren Partikeln der Dunsthaube teilweise aufgenommen und wieder zurückgestrahlt. Dadurch entsteht als zusätzlicher Temperatureffekt unter anderem das *Treibhausklima*, das noch gesondert behandelt wird.

Weiterhin ist eine direkte Konsequenz der erhöhten Partikelkonzentration in Städten die größere *Nebelhäufigkeit*. Vor allem im Winter herrschen meist generell höhere relative Luftfeuchtigkeiten als im Sommer.

Im Normalfall bildet sich bei einer Sättigung der Luft (100 Prozent Luftfeuchtigkeit) Nebel. Diese Sättigung ist abhängig von der Temperatur. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wassermoleküle kann sie aufnehmen. Das Wasser gelangt durch die Verdunstung (beziehungsweise heute auch in großen Mengen durch Kühltürme oder Trocknungsanlagen der Industrie) in die Luft. Nebel braucht allerdings außer dem Wasser noch etwas anderes: Eben jene vorher erwähnten Staubteilchen. An ihnen können sich mehrere kleinste Wassermoleküle festsetzen und etwas größere Wassertröpfchen bilden (diesen Vorgang nennt man Kondensation), die so leicht sind, daß sie noch in der Luft schweben und nicht sofort zu Boden fallen.

Ein erhöhter Aerosolgehalt der Luft allerdings, wie man ihn ja gerade im Bereich städtischer Siedlungen antrifft, bewirkt diese Anlagerungsprozesse von Wassertröpfchen und damit die Nebelbildung bereits bei wesentlich niedrigeren relativen Luftfeuchtigkeiten, nämlich ab etwa 80

Prozent. Dies führt zu der erhöhten Nebelhäufigkeit über Städten, die beispielsweise für London mit seiner gegenüber Greenwich im Jahresmittel um rund 20 höher liegenden Zahl an Nebeltagen charakteristisch geworden ist. Besonders kritische Situationen treten dabei ein, wenn derartige Nebellagen unter dem Einfluß eines stabilen winterlichen Hochdruckgebietes mehrere Tage lang anhalten. Herrschen dann auch noch Windstille und eine tiefliegende Inversionsschicht, die einen wirksamen Luftaustausch mit höheren Atmosphärenschichten unterbindet, reichern sich in dieser flachen Nebelluft Gas- und Partikelgemische zunehmend an.

Smog

Aus der Kombination der englischen Vokabeln für Rauch (smoke) und Nebel (fog) hat sich dafür der landläufig bekannte Begriff »Smog« gebildet. Er bewirkt in einigen Industriegroßstädten eine besorgniserregende Verschlechterung der lufthygienischen Situation und hat alarmierende Folgen für die Gesundheit der betroffenen Stadtbewohner. So führte etwa eine Smog-Katastrophe in London im Dezember 1952 nicht nur zu einer drastischen Erhöhung der Atemwegserkrankungen, sondern sogar zu einer geschätzten Zahl von rund 4 000 Todesfällen.

Smog-Katastrophen sind zwar Ausnahmefälle geblieben, haben aber gerade aufgrund ihrer drastischen Folgewirkung eindrucksvoll vor Augen geführt, daß die vom Menschen herbeigeführte Veränderung der *Stadtluft-Zusammensetzung* giftige Substanzen in der Atmosphäre freisetzt. Diese können bis heute noch nicht eindeutig abschätzbare gesundheitliche Schäden hervorrufen.

Und die einwirkenden Schadstoffe sind außerordentlich vielfältig: Schon die eingangs erwähnten Feststoffpartikel setzen sich neben ungefährlichen Mineralien auch aus potentiell bis absolut

schädigenden Komponenten zusammen. *Schwermetalle* wie Quecksilber und Cadmium etwa gelangen durch die industrielle Metallverarbeitung oder die Müllverbrennung in die Atmosphäre. Der vor allem in Innenstadtbereichen und an Hauptverkehrsstraßen vielfach erhöhte Bleigehalt der Feststoffpartikel wird dagegen vor allem von Kraftfahrzeugen mit Benzinmotor verursacht. Hier zeigen sich allerdings bereits spürbare Entlastungen durch die im Jahre 1976 gesetzlich verordnete Verringerung des Bleigehalts im Treibstoff. Durch die geplante Einführung bleifreien Benzins ab 1986 wird sich dies noch deutlich verbessern.

Schließlich binden sich auch *organische Verbindungen* wie Kohlenwasserstoffe – besonders bekannt ist das krebserzeugende Benzo(a)pyren – an Staubpartikel der Luft und erzeugen zusätzliche Belastungen. Reagieren Kohlenwasserstoffe unter Hilfe des Sonnenlichts mit Stickoxiden, bildet sich überdies eine markante Sichtbeeinträchtigung auch ohne Wasserdampfkondensation, die als sogenannter photochemischer Smog bezeichnet wird und erstmals in der Verkehrsmetropole Los Angeles beobachtet wurde.

Die Wirkungen der atmosphärischen Stäube und ihrer giftigen Bestandteile erstrecken sich über die klimatischen Veränderungen hinaus auch auf die *Umwelt* unserer Städte: Pflanzen werden durch die verminderte Lichtintensität in ihren photosynthetischen Reaktionen beeinträchtigt und durch die giftigen Stoffe geschädigt, die sich entweder direkt anlagern oder über den Boden in den Pflanzenorganismus gelangen. Auch der Mensch unterliegt schädigenden Auswirkungen, sei es über die Nahrungskette oder durch direktes Einatmen der Stäube in der Atemluft. Hierbei sind vor allem diejenigen Partikel von Bedeutung, die so extrem klein sind, daß sie sich nicht nur längere Zeit als Schwebstaub in der Atmosphäre halten können, sondern auch beim Einatmen bis zu den Lungenbläschen vordringen können. Dieser lungengängige Schwebstaub macht

überdies mit rund 87 Prozent sogar den größten Gewichtsanteil am Gesamtstaub aus.

Gasförmige Komponenten

Neben den Feststoffbestandteilen der Luftbeimengungen spielen gasförmige Komponenten eine ebenso bedeutsame Rolle bei der veränderten Zusammensetzung der Stadtluft. Aus der ungeheuren Vielzahl von mehreren hundert Schadstoffen konzentriert man sich bei lufthygienischen Überwachungssystemen allerdings auf einige wenige Substanzen. Sie gelten angesichts ihrer Schädlichkeit als besonders beachtenswert oder als Anzeiger für ganze Gruppen unter ähnlichen Bedingungen ausgestoßener Schadstoffe. Das hochgiftige *Kohlenmonoxid* (CO) etwa stammt außer aus den verschiedensten Feuerungen mit einer weltweiten Jahresproduktion von rund 110 Millionen Tonnen vor allem aus Kraftfahrzeugmotoren, die jährlich rund 250 Millionen Tonnen dieses Schadgases emittieren (ausstoßen). Vor allem in Großstädten haben sie bei massiertem Verkehrsaufkommen und eingeschränktem Luftaustausch wiederholt CO-Konzentrationen verursacht, die über den gesetzlich zulässigen Grenzwerten für kurzfristige Einwirkungsdauer liegen. Hier ist also die kommunale Verkehrsplanung in besonderer Weise angesprochen. Sie sollte über die wünschenswerte Reduktion der Ausstoßwerte hinaus durch günstige Verkehrsführungen oder eine stärkere Verlagerung auf öffentliche Nahverkehrsmittel eine Entschärfung auch der lufthygienischen Belastungssituation an den Brennpunkten des innerstädtischen Verkehrs herbeiführen.

Kohlendioxid (CO₂), auch in der reinen, ungestörten Atmosphäre als Spurengas vorhanden und notwendiger Bestandteil des pflanzlichen Stoffwechsels, entsteht zusätzlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Erdöl und Kohle. Einen geringeren Anteil an der CO₂-

Produktion haben Menschen und Tiere sowie die aufgrund des ausgeweiteten und intensivierten Landnutzungs verstärkte Bodenatmung von Mikroorganismen. So ist in jüngster Zeit der atmosphärische CO₂-Gehalt von 0,029 Prozent Ende des vergangenen Jahrhunderts auf etwa 0,033 Prozent in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts angestiegen, ohne daß bislang Anzeichen gegen eine weitere Zunahme erkennbar geworden wären.

Treibhausklima

Die *klimatische Bedeutung* von CO₂ besteht darin, daß es vor allem Wärmestrahlung absorbiert und damit vor allem die thermische Ausstrahlung der Erdoberfläche aufnimmt. Von dieser absorbierten Strahlung werden rund 60 Prozent wiederum an die darunterliegenden Luftschichten und die Erdoberfläche zurückgeleitet. Da andererseits die energiereiche kurzwellige Sonneneinstrahlung (beispielsweise UV-Licht) unbeeinflusst bleibt, kommt es zum Glashauseffekt der Atmosphäre: Energiereiche Strahlung kann ungehindert einfallen, erhebliche Anteile der ausgehenden Wärmestrahlung werden zurückgehalten. Zusätzliche Wärme entsteht, wenn die kurzwelligen Strahlen an der Erdoberfläche reflektiert oder aufgenommen werden. Die Zunahme des atmosphärischen CO₂-Gehalts verstärkt diesen Glashauseffekt und führt damit zu einer Temperaturerhöhung, die nicht nur im Rahmen globaler Klimaveränderungen von großer Bedeutsamkeit ist, sondern gerade auch im Bereich von Städten eine besondere Rolle spielt. Denn hier sind die Zentren der künstlichen CO₂-Produktion durch industrielle wie private Verfeuerung fossiler Brennstoffe. Und diese Verbrennungsprozesse weisen tages- und jahreszeitliche Maxima, beispielsweise am Abend sowie im Winter auf.

Die Verfeuerung von Kohle und Erdöl setzt aber

noch weitere Schadgase frei, von denen insbesondere das *Schwefeldioxid* (SO_2) als Bestandteil des Sauren Regens bekannt geworden ist. Tatsächlich werden weltweit jährlich rund 130 Millionen Tonnen SO_2 durch menschliche Aktivität freigesetzt. Dagegen nehmen sich die zwischen vier und 40 Millionen Tonnen schwankenden Mengen aus der natürlichen Quelle des Vulkanismus vergleichsweise bescheiden aus. Rund 80 Prozent der künstlichen SO_2 -Produktion entstammen der Kohle- und Erdölverbrennung, der Rest industriellen Prozessen wie der Erdölraffinerie oder der Verhüttung schwefelhaltiger Erze.

Nach einem Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen lag im Jahre 1980 der Hauptanteil der künstlichen SO_2 -Produktion mit mehr als der Hälfte bei den Kraft- und Heizwerken, gefolgt von der Industrie mit weniger als einem Drittel, während die Haushalte und Kleinverbraucher mit einem knappen Zehntel erst weit dahinter folgen und der Verkehr kaum mehr ins Gewicht fällt. Gleichzeitig wird erkennbar, daß sich der Gesamtausstoß an Schwefeldioxid im Vergleich zum Jahre 1970 leicht verringert hat. Das ist auf Umstellungen bei den Heizmitteln, Filteranlagen oder gelegentliches Entschwefeln der Brennstoffe zurückzuführen.

Wichtige SO_2 -Erzeuger

	1970		1980	
	Tonnen	Prozent	Tonnen	Prozent
Kraftwerke, Fernheizwerke	1840000	47	2060000	60
Industrie	1380000	35	1024000	29
Haushalte, Kleinverbraucher	630000	16	310000	9
Verkehr	80000	1	75000	2
Summe	3930000	100	3469000	100

Trotz des geringen Anteils der Haushalte ist ihr Anteil an der Luftbelastung dennoch nicht zu unterschätzen. Denn die Emissionen aus der

Wohnraumbeheizung treten in der winterlichen Heizperiode konzentriert auf und führen dann zu einer wesentlich höheren atmosphärischen SO_2 -Konzentration.

Die verkehrsbedingte Kohlenmonoxid- und die heizungsbedingte Schwefeldioxidanreicherung erfordern ebenso genaueste lufthygienische Überwachung, wie auch die steigende Konzentration der Oxide des *Stickstoffs* (NO und NO_2). Die Stickoxide werden sowohl von Kraftfahrzeugmotoren als auch bei der Verbrennung von Kohle und Erdöl freigesetzt. Im Unterschied zu CO und SO_2 , die in letzter Zeit eine leicht rückläufige Tendenz bei der Luftbelastung gezeigt haben, ist gerade bei den Stickoxiden noch eher eine weitere Zunahme in der atmosphärischen Konzentration zu erwarten.

Die schädlichen Auswirkungen der Immissionen der Stickoxide reichen von Korrosionsschäden an Bauwerken über die Beeinträchtigung pflanzlicher Lebens- und Produktionsbedingungen bis zu gehäuftten Erkrankungen der Atmungsorgane beim Menschen. Sie erfordern daher verstärkte Anstrengungen zum Schutz der Umwelt, sei es durch Abgasreinigung an der Quelle der Emittenten selbst oder durch stadtplanerische Maßnahmen. Dazu gehört vor allem die gezielte Standortausweisung für mögliche Großemittenten in relativ günstiger Lage. Dabei müssen Stadtstruktur und Windfeld berücksichtigt werden. Auch die Förderung wirksamer Frischluftzufuhr durch entsprechende Flächennutzung und Bauleitplanung gehört hierzu.

Fernwirkungen

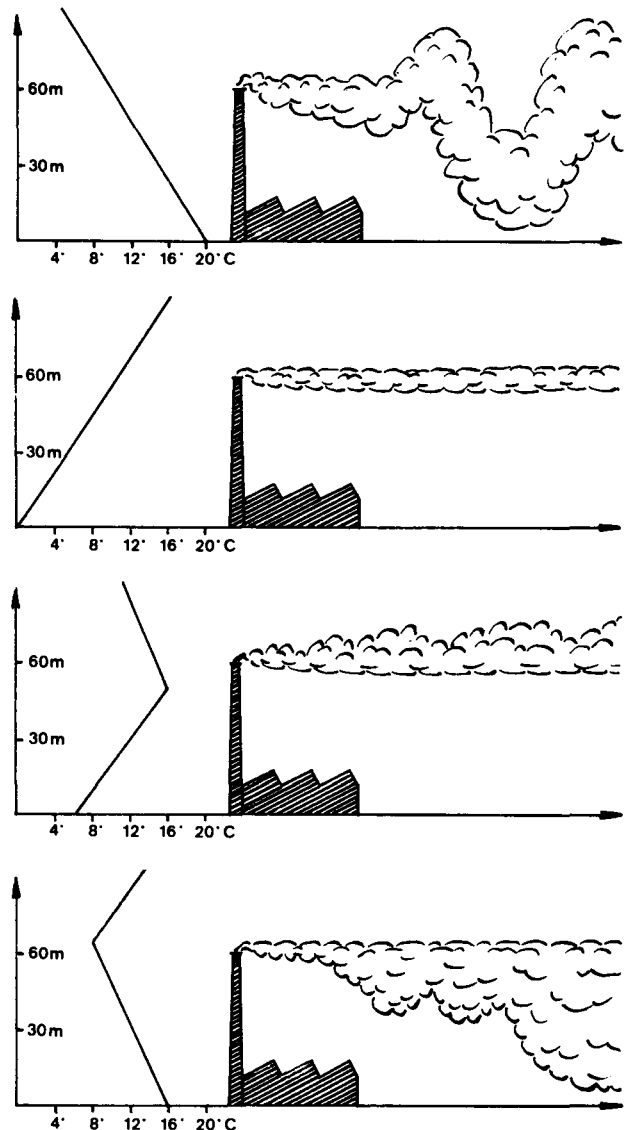
Gerade das Schadgas Schwefeldioxid als eine der Wirkkomponenten des Waldsterbens hat durch seine Folgen oft fernab der eigentlichen Ausstoßquellen vor Augen geführt, daß Freisetzung und Einwirkung von Schadstoffen nicht notwendig räumlich zusammenfallen. Gerade dem Ausstoß

(Emission) aus *hohen Schornsteinen*, wie er bei vielen Kraftwerken und Industrieanlagen üblich ist, folgen vielschichtige Umlagerungs- und Transportprozesse in der Atmosphäre. Sie sind von den jeweiligen meteorologischen Bedingungen abhängig und werden als *Transmission* bezeichnet. An deren Ende steht die eigentliche Einwirkung von Luftverunreinigungen auf Mensch und Umwelt, die Immission. Transmissionsprozesse laufen nun nicht nur zwischen städtischen Emissions- und ländlichen Immissionsgebieten ab, sondern gleichermaßen auch innerhalb von Stadtgebieten, in denen die Schwerpunkte der Schadgasemissionen nicht mit den Hauptimmissionsbereichen zusammenfallen müssen.

Um die Menge des Schadstoffausstoßes zu erfassen, sind in zahlreichen Städten *Emissionskataster* erstellt worden. Sie erlauben für verschiedene Schadstoffe einen Überblick über die räumliche Verteilung der Ausstoßmengen. Will man dagegen die jeweilige Immissionssituation feststellen, sind direkte Messungen der Schadstoffe an den Einwirkungsorten nötig. Zusätzlich muß man beispielsweise schadstoffempfindliche Organismen untersuchen. Zu solchen Indikatoren (Anzeigern) gehören viele Flechten, die auf der Rinde von Bäumen wachsen.

Das Floriansprinzip

Nach dem ›Floriansprinzip‹ baut man auch heute noch möglichst hohe Kamine, um die Emissionen der großen Umweltverschmutzer möglichst weitläufig und breit zu verteilen. Damit wird das Problem der Immission aber keineswegs gelöst, sondern bestenfalls verlagert. Wie sich solche Kamine auswirken, wo ihre Schadstoffe unter Umständen wirksam werden und welche Wetterbedingungen die Verteilung und Zerstreuung der Schadstoffe beeinflussen, zeigt die nebenstehende Abbildung.



Sie zeigt, daß die Rauchfahne bereits sehr schnell auch bodennahe Luftschichten erreicht, wenn die Temperatur nach oben hin rasch abnimmt (Fall a). Herrscht dagegen eine Inversionslage, also höhere Temperaturen in der Höhe, breitet sich die Fahne nahezu horizontal aus und verteilt ihre Fracht über große Entfernungen und Flächen (Fall b). Für Städte besonders bedeutsam sind die beiden letzten Fälle. Im Fall c ist dargestellt, was bei einer typischen Wetterlage über Städten geschieht: In Bodennähe herrscht eine Inversionsla-

ge, deren Grenze unterhalb der Kaminöffnung liegt. Hierbei ergeben sich für die unmittelbare Umgebung Vorteile. Denn die Abgase können die Grenzschicht nicht durchdringen, sie werden mit dem Wind weggeblasen (und fallen anderswo nieder). Besonders wegen dieser häufigen Wetterlage über Städten hat man die Kamine in der Vergangenheit möglichst hoch gebaut. Um die Schäden, die in oft weit entfernten Gebieten durch diese Schadstoffe entstehen, hat man sich offensichtlich keine Gedanken gemacht.

Der letzte Fall zeigt Wetterverhältnisse, wie sie besonders für Herbst und Winter typisch sind. Auch hier herrscht eine Inversion. Aber deren Grenzschicht liegt oberhalb des Kaminendes. Dann bleiben die Schadstoffe in der Nähe der Quelle in der Luft. Gerade in der kalten Zeit aber stoßen Heizungsanlagen aber auch große Mengen an Abgasen aus. In diesem – durchaus häufigen – Fall nutzt auch der hohe Kamin nichts, die Luft in der Stadt wird extrem hoch belastet. Hält eine derartige (Hochdruck-)Wetterlage über mehrere Tage an, entsteht der gefürchtete Smog.

Die Wärmeinsel

So herausragend die veränderte Stadtluft gerade in den letzten Jahrzehnten für das Stadtklima geworden ist, bleibt sie dennoch bei weitem nicht die einzige bedeutsame klimatische Folgewirkung des Siedlungskörpers Stadt. Nahezu alle klimatischen Elemente ändern sich im Stadtbereich durch die weitgehende Umgestaltung der Erdoberflächenbeschaffenheit mehr oder weniger deutlich. In ihrer Gesamtheit machen sie den eigenständigen Charakter des Stadtklimas aus. Im Bereich von Städten werden alle *Strahlungsarten* in charakteristischer Weise verändert. Wie bereits vorher gesagt, erreicht noch ein Teil von rund 80 Prozent der kurzwelligen Strahlung die Erdoberfläche. Der Rest verliert einen großen Teil seiner Energie, weil er in der Dunsthaube

mit Schwebeteilchen zusammentrifft und dabei gebrochen oder zurückgestrahlt wird. Dabei verwandelt er sich in langwellige (Wärme-)Strahlung. Gleichzeitig wird dadurch weniger Sonnenstrahlung und Himmelslicht wieder abgestrahlt. Dazu kommt, daß in Städten die *Oberflächen* extrem vergrößert sind: Hauswände, Dächer, künstliche Böschungen und Dämme sowie betonierte und asphaltierte Straßen und Plätze ›schlucken‹ sehr viel Strahlung und laden sich dabei mit Wärme auf. Auch diese Energie kann in Städten nur sehr langsam wieder abgestrahlt werden. Dadurch ist die Temperatur in Städten im Durchschnitt um ein halbes bis ein Grad höher als im Umland. Herrschen typische ›Stadtwetterlagen‹, kann der Unterschied zum Umland noch sehr viel höher sein. Die Stadt bildet also einen fest umgrenzten Raum mit höherer Temperatur, eine Wärmeinsel.

Weil sich viele Baumaterialien wie Ziegel und Asphalt stark mit Wärme aufladen, diese aber nur langsam und gleichmäßig wieder abstrahlen können, sind auch die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht und genauso zwischen Sommer und Winter nicht so groß wie in der freien Landschaft.

Dieser Effekt wird noch dadurch verstärkt, daß in Städten Grün- und Wasserflächen vergleichsweise sehr klein sind. Dadurch kann weniger Wasser verdunsten und die Luft abkühlen. Auch der Wärmeverbrauch von Pflanzen wirkt sich kaum nennenswert aus. Regenwasser, das ebenfalls zur Abkühlung beitragen könnte, läuft von den versiegelten Dach-, Straßen- und Platzflächen sehr schnell in die Kanalisation ab und kann daher auch nur relativ wenig Kühlung bringen. Schließlich trägt der Mensch direkt zur Erwärmung der Luft in den Städten bei: Heizungen in Häusern, Produktionsprozesse in Industrie und Gewerbe und nicht zuletzt der Verbrennungsmotoren der Autos tragen zur Aufheizung der Städte bei.

Temperaturgefälle

Nicht immer allerdings sind die Temperaturen in gleicher Weise erhöht. Relativ gering sind die Temperaturunterschiede etwa bei Tiefdruckwetterlagen mit verbreiteten Niederschlägen oder höheren Windstärken. Die größten Temperaturunterschiede treten meist im Sommer bei ruhigem, sonnigem Wetter mit hohen Temperaturen auf, insbesondere nach Sonnenuntergang, wenn die tagsüber absorbierten Strahlungsmengen wieder an die Luft über der Stadt abgegeben werden. Bei weitgehender Windstille können die Temperaturunterschiede Stadt-Land unter solchen Bedingungen im Extremfall bis zu zehn Grad betragen. Sie bewirken besonders in schlecht durchlüfteten Stadtbereichen einen unangenehmen Wärmestau, während im Umland schon spürbare Abkühlung für nachhaltige Erleichterung gesorgt hat.

Doch treten nennenswerte Temperaturgefälle nicht nur zwischen Stadt und Land auf, vielmehr auch innerhalb der Städte selbst. Sie sind abhängig von den unterschiedlichen Oberflächentypen und Nutzungsformen. Die Temperaturunterschiede zwischen dicht bebauten Stadtteilen, vegetationslosen, versiegelten Flächen oder Industrie- und Verkehrszentren einerseits sowie größeren Parkanlagen, durchgrünten Villenvierteln oder Stadtteilen mit stark aufgelockerter Bauweise andererseits können ähnliche Größenordnungen annehmen wie das Gefälle Stadt-Land. Das Temperaturfeld einer Stadt ist also das Ergebnis des Zusammenwirkens vieler kleinräumig gegliederter Baukörper, unterschiedlich beschaffener Flächen und verschiedenartiger Verkehrswege.

War bisher von der im Sommer oft als lästig empfundenen erhöhten Temperatur der Städte die Rede, so gibt es andererseits durchaus auch eher *positive Momente* der höheren städtischen Temperaturen: Gerade die abgeschwächte Wintertälte mit einer geringeren Zahl an Frost- und

Eistagen ermöglicht Energieeinsparungen bei der Raumbeheizung. Aber auch die kleinere Zahl der Tage mit Schneefall sowie mit geschlossener Schneedecke bedeutet für die Stadt eher einen Vorteil. Schließlich blühen Pflanzen in der Stadt im Frühjahr eher, weil die Winter weniger streng und viel kürzer sind. Die vergleichsweise hohen Temperaturen erlauben auch vielen Arten aus wärmeren Regionen des Südens, in Städten erträgliche bis gute Lebensbedingungen zu finden.

Wolken und Niederschläge

Indirekte Auswirkungen zeigt die positive Temperaturanomalie der Städte auf Bewölkung und Niederschlag: Die über dem städtischen Baukörper erwärmte Luft dehnt sich aus und steigt aufgrund ihres geringeren spezifischen Gewichts nach oben auf. Dieser Prozeß wird noch durch mechanische Hebungsvorgänge verstärkt. Denn der Wind wird an den hohen Gebäuden nach oben »umgeleitet«. Die erhöhte Zahl an Kondensationskernen bewirkt eine besondere Neigung zu Quellwolkenbildung, die an Schönwettertagen im Sommer ab Mittag oft direkt zu beobachten ist und die im Mittel einen über Städten um fünf bis zehn Prozent erhöhten Bewölkungsgrad ergibt. Dessen Konsequenz wiederum ist einmal eine Reduktion der Sonnenscheindauer, zum anderen eine Zunahme der Schauerniederschläge, die allerdings vorzugsweise über der vom Wind abgekehrten Seite der Stadt zu verzeichnen sind.

Der Wind

Als letzte klimatologische Größe seien die Windverhältnisse angesprochen. Charakteristisches Merkmal für Städte ist die Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit um 20–30 Prozent.

Dies liegt an der erhöhten Oberflächenrauigkeit des städtischen Baukörpers. Am stärksten ist dieser Effekt in dicht bebauten Innenstadtbereichen, wo häufige Windstillen die ohnehin geringe Durchlüftung noch weiter verschärfen. Dies wiegt natürlich sowohl hinsichtlich der sommerlichen Hitze als auch im Hinblick auf die erhöhten Schadstoffkonzentrationen schwer, da gerade diese beiden Situationen eigentlich einen verstärkten Luftaustausch besonders nötig machen würden. Mithin ist es eine besondere Aufgabe der Stadtplanung, bestehende Frischluftschneisen offen zu halten oder günstige Austauschmöglichkeiten zwischen Schwerpunkten dichter Bebauung und Entlastungsräumen zu schaffen.

In diesem Zusammenhang spielen hinreichend große Frei- und Grünflächen als Entlastungsräume gerade auch in der Nähe von Zentren dichter Bebauung eine bedeutsame Rolle. Dies um so mehr, als die sogenannten Flurwinde (stadteinwärts oder auf Siedlungsschwerpunkte gerichtete Ausgleichswinde) zwischen dem Umland und den städtischen Wärmeinseln entweder überhaupt nicht aufkommen können oder aber nur derart mäßig wehen, daß sie keinen nennenswerten Ausgleich bringen. Auch die in Straßenschluchten gelegentlich auftretenden Windböen bewirken keine grundsätzliche Verbesserung, weil sie zu begrenzt und unregelmäßig auftreten.

Die Besonderheiten

Das Klima der Städte hat also seine eigenen, ausgeprägten Besonderheiten. Viele Erscheinungen weichen ganz erheblich von denen in der freien Landschaft ab. Dies sind vor allem die sommerlichen Hitzestaus, die mangelhafte oder gar fehlende Durchlüftung, die öfter herrschende Bewölkung, verbunden mit häufigerem Niederschlag, der im Winter ständig drohenden Nebelbildung, der trübenden und den Strahlungshaushalt ändernden Dunstglocke und der oft extrem

verunreinigten Luft. Diese Erscheinungen werden verursacht durch die sehr dichte Bebauung, den starken Verkehr in oft schluchtartig angelegten Straßen und die Abluft aus zahllosen Industrie- oder Heizungskaminen. Diese Faktoren tragen zu einer ständig drohenden Smog-Gefahr bei.

Daher muß das Stadtklima bei jeder *Planung* ein wichtiger Faktor sein. Denn es gibt eine ganze Reihe von Möglichkeiten, dieser Gefahr entgegenzuwirken. Diese umfassen sowohl das Problem der kurzzeitigen Belastungsspitzen in Zeiten ungünstiger Witterungslagen als auch die Dauerbelastung der Luft mit all ihren negativen Folgen für Mensch und Umwelt. Im Bereich der Schadstoffemissionen helfen wohl nur gesetzlich vorgeschriebene *Höchstgrenzen* für den Ausstoß von Schadstoffen und *lufthygienisch* orientierte *Standortentscheidungen*. Dies bedeutet im allgemeinen beispielsweise, abluftintensive Industriebetriebe möglichst an der windabgewandten Seite eines Siedlungsraumes anzusiedeln. In unseren Breiten ist das meist die Osthälfte der Stadtränder, weil unser Wetter in der Hauptsache von Westwinden beeinflusst wird.

Doch nicht nur die Hauptwindrichtung darf für eine Standortentscheidung wichtig sein. Ebenso müssen stadtinterne *Luftströmungen* beispielsweise bei Inversionswetterlagen berücksichtigt werden. Auch muß sichergestellt sein, daß eine länger andauernde Dunstglocke oder tagelanger Nebel, wenn also die Luft beinahe stillsteht und nicht von außen aufgefrischt wird, nicht zu Smog-Katastrophen führen können.

Dies kann allerdings nur Wirkung zeigen, wenn gleichzeitig auch Höchstgrenzen für die Immission, die Einwirkung der Schadstoffe auf die Stadtgebiete (und natürlich auch des Umlands), festgelegt werden. Dies kann nach dem heutigen Stand der Technik beispielsweise entweder durch entsprechende Filter- oder Rauchgas-Reinigungsanlagen, die Einführung bleifreien Benzins und abgasreinigender Katalysatoren für Autos

geschehen. In bestimmten Fällen wird es sich nicht umgehen lassen, veraltete oder schadstoffintensive Fabrikanlagen stillzulegen. Mit höheren Kaminen ist es nicht getan, damit wird das Problem im günstigsten Fall in andere Gegenden verlagert.

Staat und Kommunen sind aufgefordert, diese Entwicklungen durch finanzielle Anreize und städteplanerische Vorschriften und Auflagen zu unterstützen oder – was leider in vielen Fällen noch nötig ist – erst einmal einzuleiten.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß einerseits zwar die Großemittenten natürlich besonders aufmerksam beobachtet werden müssen. Auf der anderen Seite aber darf in diesem Zusammenhang auch die große Zahl der *kleinen Luftverschmutzer* – Autos und Heizungsanlagen beispielsweise – nicht vergessen werden. Denn die Vielzahl der kleinen Emittenten summiert sich in Städten sehr schnell zu einer verhängnisvollen bedeutenden Belastung. Ein Schritt zu besserer Luft ist beispielsweise, umweltfreundlichere und schwefelärmere Brennstoffe als Kohle oder Heizöl zu verwenden. *Solarheizungen, Wärmepumpen, Erdgas* oder der Anschluß an ein *Fernwärmenetz* können zu besserer Luft ebenso beitragen wie Automotoren, die mit *Gas* oder *Alkohol* angetrieben werden. Gerade in Städten sollte man heute den Bau weiterer großer Straßen zugunsten eines attraktiveren öffentlichen Nahverkehrssystems auf das unbedingt notwendige Maß beschränken.

Der Stadtplanung fällt die Aufgabe zu, *Wind-schneisen* und große *Austauschflächen* wie Parks oder Stadtwälder zu erhalten oder zu erweitern. Denn sie sind als ›Ventilatoren‹ für unsere Städte

unbedingt notwendig. Durch sie kann nämlich den Ballungsräumen nicht nur frische Luft von außen zugeführt werden. Sie wirken selber als innerstädtische Filter für Staub, viele Schadstoffe und als ideale ›Wärmetauscher‹, die überhitzte Stadtkerne abkühlen helfen können.

»Stadtluft macht frei« hieß es zu Recht im Mittelalter. »Stadtluft macht krank« ist ein gängiges und allzuoft berechtigtes Schlagwort der achtziger Jahre. In vielen Fällen können kleine Maßnahmen helfen, das Klima der Städte nachhaltig und wirkungsvoll zu verbessern. Manchmal werden sich allerdings auch schmerzhaft Eingriffe, wie die Stillegung veralteter Heizungs- oder Industrieanlagen nicht verhindern lassen.

Daß sich das Klima in Städten durchaus verbessern läßt, zeigen beispielsweise die Großstädte München oder London. In der bayerischen Landeshauptstadt fanden Biologen im Sommer 1984 am Stachus, dem ehemals verkehrsreichsten Platz Europas, erstmals seit Jahrzehnten wieder Flechten an Bäumen – sichtbares und untrügliches Zeichen für eine entscheidende Verbesserung der Luft. Und der legendäre, einstmals gefürchtete schwefelgelbe Londoner Nebel hat seit einiger Zeit seine Schrecken verloren. Ein ganzes Paket von Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft hatte gegriffen.

Es wäre sicher eine Illusion zu glauben, die Luft in den Städten könne je die Qualität und Reinheit erreichen, mit der Kurorte auf ihren Hochglanzprospekten werben. Aber das Klima in unseren Städten läßt sich durchaus entscheidend verbessern, zum Vorteil für Menschen, Tiere und Pflanzen. Und das tut not.